

Agujeros negros supermasivos binarios en galaxias activas

Autora: Mar Mezcua Pallerola
(mmezcua@mpifr.de)

Tesis doctoral dirigida por: Andrei Lobanov

Centro: Instituto Max Planck de Radioastronomía (Bonn, Alemania)

Fecha de lectura: 18 de octubre de 2011

Según el modelo jerárquico de formación galáctica, las galaxias crecen a través de fusiones que aumentan la formación estelar y desencadenan actividad en el núcleo galáctico activo (AGN). Si casi todas las galaxias contienen un agujero negro supermasivo (SMBH) en su centro, se espera que pares de SMBHs se formen en el transcurso de una fusión. La detección y estimación del número de agujeros negros binarios (BBH) pueden, por lo tanto, ayudarnos a entender cómo se forman y crecen las galaxias así como arrojar luz sobre los modelos evolutivos que rigen el Universo. Con este objetivo, en esta tesis seguimos tres líneas distintas de estudio para obtener pruebas observacionales de sistemas de BBH: en las radio galaxias en forma de X, en fuentes ultraluminosas de rayos X, y en galaxias en post-fusión con núcleo doble. Las galaxias en forma de X son una clase de radio fuentes peculiares que presentan dos pares de lóbulos en radio que pasan simétricamente por el centro de la galaxia, lo cual da a la galaxia la morfología en radio en forma de X. Se ha sugerido que esta morfología podría reflejar una fusión reciente de dos SMBHs o la presencia de un segundo agujero negro (BH) activo en el núcleo galáctico. En esta tesis, esta hipótesis se ha probado mediante un estudio multifacético que combina mediciones de la luminosidad óptica y de radio, estimaciones de las masas del agujero negro y las edades de los lóbulos en radio, y evaluaciones de las historias de formación estelar en las radio fuentes en forma de X y sus galaxias anfitrionas. El estudio abarca una muestra de 38 radio galaxias en forma de X y una muestra de control de 36 núcleos activos radio-fuertes con similares desplazamientos al rojo y similares luminosidades ópticas y de radio. Los espectros ópticos de las galaxias son modelados mediante una combinación lineal de poblaciones estelares sintéticas que proporciona la dispersión de velocidades estelares (a partir de la cual se puede obtener la masa del BH) así como la fracción de la luz, fracción de la masa y la metalicidad de las poblaciones estelares. A partir de éstas se puede obtener la historia de formación estelar de las galaxias. La edad dinámica de los lóbulos activos se estima por su tamaño angular en los mapas de radio. Un estudio estadístico de todas estas propiedades revela que todas las fuentes en forma de X de la muestra se encuentran en galaxias elípticas, sus masas de BH son en promedio superiores a las de la muestra de control de AGN radio-fuertes, y presentan una mayor actividad de formación estelar a las escalas de tiempo esperadas en fusiones galácticas (Mezcua et al. 2011, *A&A*, 527, 38). Estos resultados apoyan la hipótesis de la fusión como origen de la peculiar morfología de las radio galaxias en forma de X.

También se ha sugerido que las fuentes ultraluminosas de rayos X (ULX) pueden estar relacionadas con los sistemas de BBH en galaxias post-fusión. La alta luminosidad en rayos X de las ULXs no puede explicarse mediante los modelos de evolución estelar, a menos que sean binarias de rayos X con acrecimiento súper-Eddington, con fuertes efectos de colimación, o en un estado ultraluminoso. Por otra

parte, se ha sugerido que las ULXs son agujeros negros de masa intermedia (IMBH) con una tasa de acrecimiento sub-Eddington, supernovas jóvenes, o BHs secundarios en el curso de una fusión con la galaxia anfitriona de la ULX. Con el fin de aclarar cuál es la situación más probable, la masa de BH de las ULXs con contrapartidas en radio detectadas se estima a partir de la ubicación de las ULXs en el plano fundamental de los agujeros negros. Encontramos que las 19 ULXs estudiadas tienen masas de BH estimadas en el rango de 10^3 – $10^8 M_{\text{sol}}$, y que el 58% de ellas tienen masas de BH en el rango de 10^2 – $10^3 M_{\text{sol}}$ esperado en IMBHs. También llevamos a cabo observaciones en radio de alta resolución con VLBI de tres ULXs con contrapartidas en radio conocidas. Esto resulta en una mayor estimación de la masa de BH de dos de ellas (Mezcua & Lobanov 2011, *AN*, 332, 379) y la obtención de la estructura resuelta de uno de los restos de supernova más joven conocido.

La tercera clase de objetos propensos a alojar sistemas de BBH son las galaxias con doble núcleo. De acuerdo con los modelos que describen la evolución de los sistemas de BBH, se espera que la luminosidad de los dos núcleos se vea afectada por un aumento de la tasa de acrecimiento debido a efectos de marea y por la rotura del disco de acrecimiento. Esta tesis demuestra esta hipótesis mediante el estudio de la luminosidad óptica de una muestra de 54 galaxias post-fusión con núcleo doble. La luminosidad de cada uno de los núcleos y su separación relativa se obtiene a partir del ajuste de dos componentes gaussianas (PSF fitting) a las imágenes en banda g, r, y u del centro de estas galaxias post-fusión, mientras que la luminosidad de la galaxia anfitriona se obtiene a partir de la fotometría óptica del SDSS. Como resultado del PSF fitting, encontramos que en 19 de las galaxias post-fusión los dos núcleos están separados físicamente por menos de 1 kpc. Estas fuentes son, por lo tanto, candidatas a contener pares de AGN a escalas inferiores al kpc. En segundo lugar, encontramos que la luminosidad nuclear se correlaciona con la luminosidad de la galaxia debido a un aumento de la tasa de acrecimiento por causas de marea, pero que otro mecanismo está afectando también a la tendencia observada en la luminosidad. Sugerimos que la rotura del disco de acrecimiento desempeña también un papel, y estimamos que éste debería ocurrir en un radio de ligadura de entre 1 y 3 kpc. El ajuste de un modelo de BBH, que tiene en cuenta tanto el incremento en luminosidad debido a las mareas así como la rotura del disco de acrecimiento, apoya estos resultados e indica que el disco de acrecimiento, tanto del núcleo primario como del secundario, está siendo rasgado en todas las fuentes. El modelo indica también que los dos núcleos se encuentran gravitacionalmente unidos cuando están a una distancia proyectada de 2.3 kpc, que es el caso del 60% de las galaxias estudiadas. Así mismo, encontramos un valor del índice espectral de la ley de potencias del disco de acrecimiento que está de acuerdo con el de AGNs con un pico en la banda óptica/UV ("big blue bump") en su distribución espectral de energía.

Con el fin de probar el escenario BBH en las ULXs con contrapartidas detectadas en radio, los resultados del ajuste de BBH obtenidos para las galaxias con núcleo doble se aplican también a la dependencia de la luminosidad en rayos X de las ULXs con la separación nuclear a su galaxia anfitriona. La tendencia observada entre la luminosidad de las ULX y la distancia nuclear está de acuerdo con el modelo de BBH, apoyando la hipótesis de BBH para las fuentes ULX estudiadas. En general, los resultados de nuestro estudio indican que la actividad del agujero negro secundario se apaga rápidamente en las galaxias post-fusión, lo que explica la baja tasa de detección de secundarios. Nuestro estudio muestra una manera más efectiva de abordar el estudio observacional de estos objetos, que se continuará con observaciones en el visible y en radiofrecuencia utilizando, entre otros, el VLT, el EVLA, y el VLBA.